

**Машиностроение и машиноведение**

УДК 621.9.048

DOI: 10.30987/article\_5d2d92312d1863.53149771

В.А. Лебедев, Г.В. Серга

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВИНТОВЫХ РОТОРОВ С ВОЛНООБРАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПО ПЕРИМЕТРУ**

Представлены результаты исследований по совершенствованию процесса отделочно-упрочняющей обработки. Предложены рабочие органы станков в виде комбинированных винтовых роторов с волнообразной поверхностью по периметру. Конструкция и принцип работы станков на базе рабочих органов в виде комбинированных

винтовых роторов с волнообразной поверхностью по периметру показаны на примере станка для отделочно-упрочняющей обработки.

**Ключевые слова:** отделочно-упрочняющая обработка, комбинированный ротор, рабочий орган, волнообразная поверхность, периметр, масса загрузки.

V.A. Lebedev, G.V. Serga

**FINISH-STRENGTHENING EFFECTIVENESS INCREASE BASED ON USE OF SCREW ROTORS WITH WAVE SURFACE ON PERIMETER**

The paper reports the results of investigations on finish-strengthening improvement. There are offered labor bodies in the form of screw rotors with a wave surface on the perimeter of combined screw rotors in which a rotation axis is located at an acute angle to a symmetry axis. The search of designs of screw rotors with a wave surface on the perimeter was carried out through the methods of descriptive geometry and engineering graphics with the aid of "Compass-3D" program complex.

The design and operating principle of machines based on labor bodies in the form of combined screw rotors with a wave surface on a perimeter are shown by the example of the finish-strengthening machine. In the developed classification of machine labor bodies there are presented various forms of their surface on the perimeter.

**Key words:** finish-strengthening, combined rotor, operation body, wave surface, perimeter, loading weight.

**Введение**

Комбинированные винтовые роторы с волнообразной поверхностью по периметру позволяют придавать обрабатываемым предметам (деталям и средам) движение с большой амплитудой за счет своей оригинальной формы. В результате их применения обеспечивается повышение производительности, уменьшение энергозатрат и расходов на единицу готовой про-

дукции. Следует отметить, что все представленные в статье образцы оборудования, созданные методами начертательной геометрии и инженерной графики, относятся к машинам четвертого класса, т.е. к машинам и технологиям будущего, в которых, согласно классификации академика Л.Н. Кошкина, предметы обработки обрабатываются пространством [1-12].

**Методы и пути совершенствования рабочих органов станков**

В результате выполненных исследований предлагается классификация рабочих органов станков в виде комбинированных винтовых роторов (рис. 1).

За счет оформления наружных поверхностей комбинированных винтовых роторов по периметру волнообразными создаются условия для придания предметам обработки (обрабатываемым деталям,

сыпучим средам) колебаний с большой амплитудой (500-1000 мм и выше). Это позволяет расширить технологические возможности технологических процессов.

Для наглядности на рис. 2 представлены выполненные с помощью программного комплекса «Компас-3D» комбинированные винтовые роторы с разнообразной формой поверхности по периметру.



Рис. 1. Классификация рабочих органов станков в виде комбинированных винтовых роторов с разнообразной формой поверхности по периметру

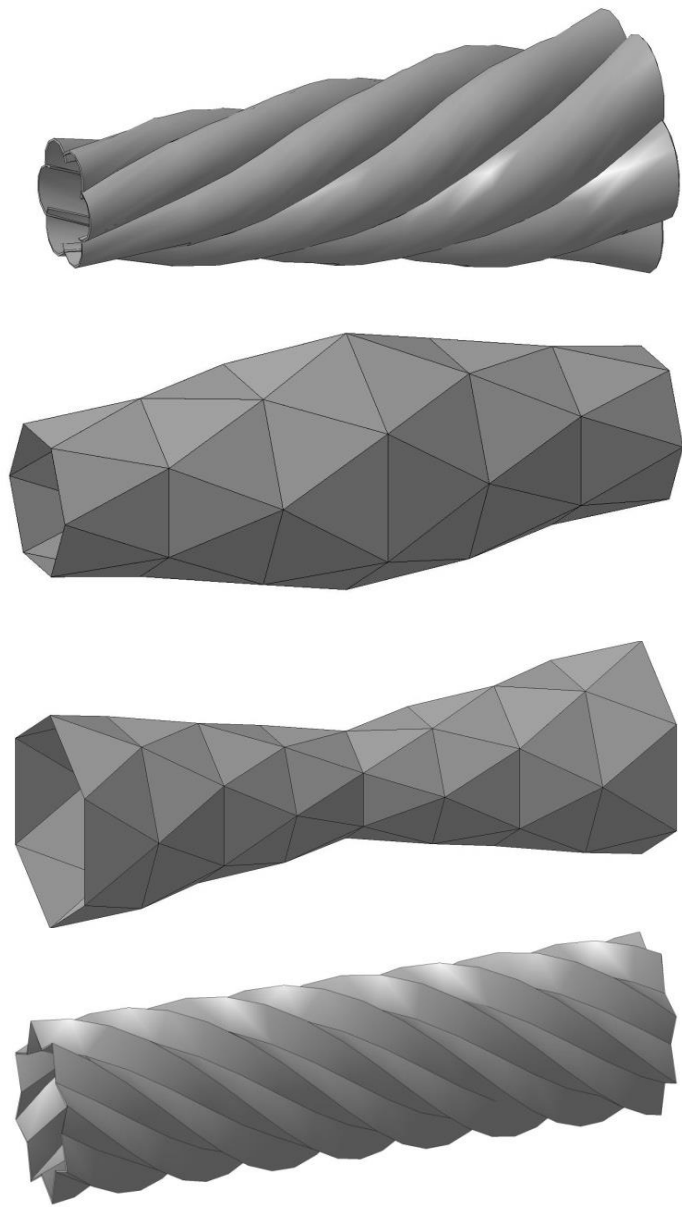


Рис. 2. Примеры наглядного изображения комбинированных винтовых роторов с разнообразной формой поверхности по периметру

На рис. 3 представлен станок для отделочно-упрочняющей обработки, состоящий из комбинированного винтового ротора 1, средства для загрузки 2, средства для выгрузки 3 обработанных деталей, средства для выгрузки отходов производства 4 (облой, окалина, заусенцы) и привода (на чертежах не показан). Комбинированный винтовой ротор 1 снабжен цапфами 5 и 6 с возможностью вращения в подшипниковых опорах 7 и 8. Носок 9 средства для загрузки 2 входит в отверстие цапфы 5 комбинированного винтового ротора 1. Средство для загрузки 2, подшипниковые опоры 7 и 8 со смонтированным в них комбинированным винтовым ротором 1 закреп-

лены на платформе 10. Платформа 10 подвешена на четырех пружинах 11, которые закреплены на основании 12. Для увеличения скорости продольного перемещения обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред от загрузки к выгрузке устройство для отделочно-упрочняющей обработки снабжено приспособлением (на чертеже не показано) для придания наклона оси вращения комбинированного винтового ротора 1 относительно горизонта. По всей длине загрузочной цапфы 5 и разгрузочной цапфы 6 закреплены конические пружины 13 и 14 с круглым сечением витков.

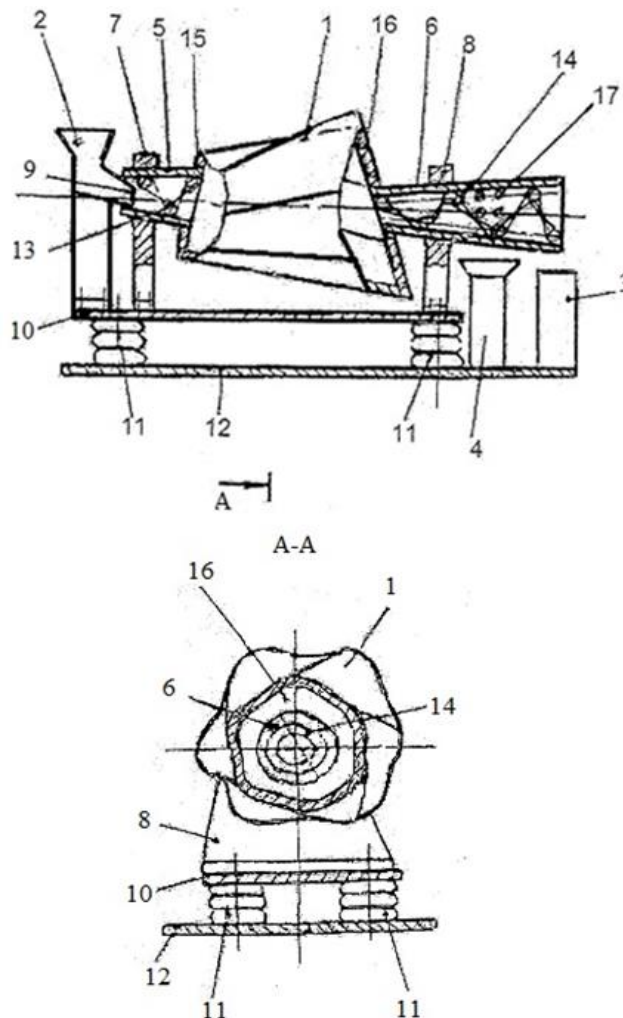


Рис. 3. Станок для отделочно-упрочняющей обработки

Комбинированный винтовой ротор 1 (рис. 4) выполнен коническим, в виде винтового наклонного усеченного

конуса с волнообразной боковой поверхностью по периметру и плоскими основаниями в виде торцевых щек эллиптические

ской формы 15 и 16, смонтированных под острым углом  $\beta$  одна к другой и под разными острыми углами  $\psi$  и  $\varphi$  к оси вращения комбинированного винтового ротора. При этом комбинированный винтовой ротор 1 установлен под острым углом  $\alpha$  к оси его вращения и снабжен загрузочной и разгрузочной цапфами 5 и 6 конической формы с уклоном в сторону выгрузки и жестко закрепленными по их внутренним диаметрам коническими пружинами 13 и 14 с витками круглого сечения и уклоном в сторону выгрузки. Большие

оси  $i_1-i_1$  и  $i_2-i_2$  (рис. 5) торцевых щек 15 и 16 комбинированного винтового ротора 1 повернуты по оси его вращения друг относительно друга на острый угол  $\omega$ , при этом волнообразная боковая поверхность по его периметру сгибается с образованием винтовых поверхностей. По периметру выгрузной цапфы 6 выполнены отверстия 17, позволяющие отделять в средство для отходов 4 отходы производства (заусенцы, облой, окалину) от обработанных деталей, которые выгружаются в емкость 3.

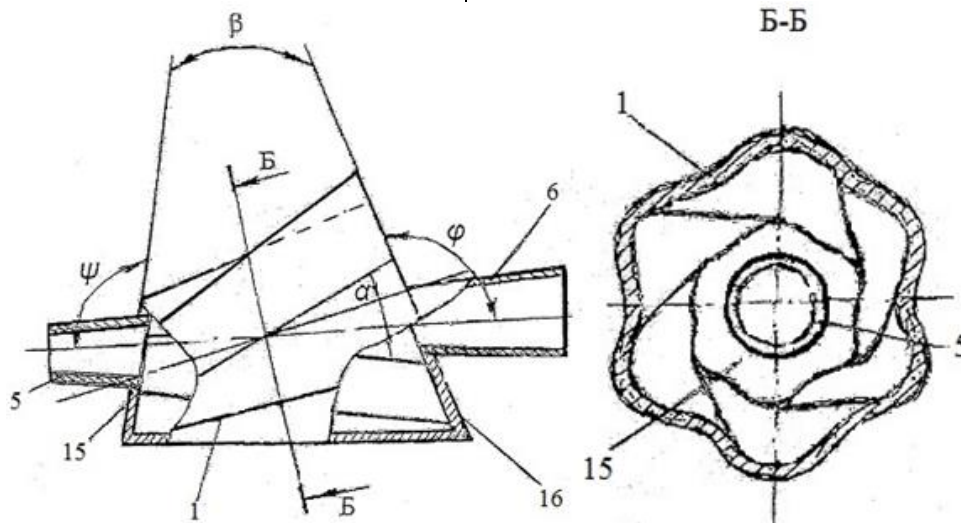


Рис. 4. Комбинированный винтовой ротор с волнообразной поверхностью по периметру

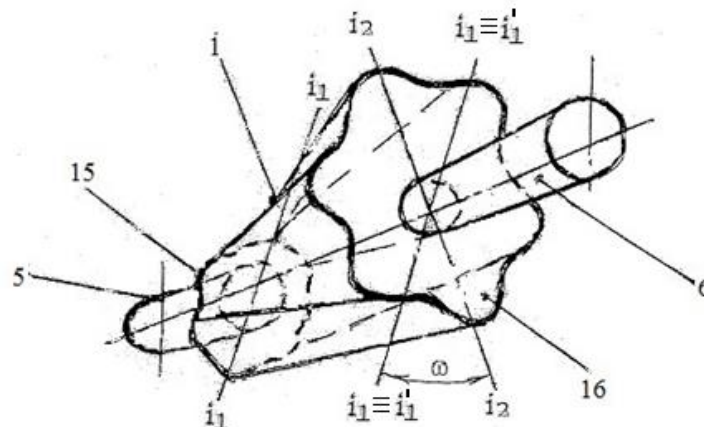


Рис. 5. Наглядное изображение комбинированного винтового ротора с волнообразной поверхностью по периметру

При вращении комбинированного винтового ротора 1 массы загрузки (обрабатываемые детали и частицы рабочих сред) совершают движение по различным эллиптическим траекториям, разме-

ры которых меняются по длине ротора в каждом поперечном сечении (рис. 3-5). При этом центры симметрии внутренней поверхности комбинированного винтового ротора 1 в каждом его элементе по-

перечного сечения смещены относительно оси вращения ротора, что не только нарушает скорость и направление движения масс загрузки, но и способствует созданию эксцентриситета. Массам загрузки сообщаются низкочастотные колебания с большой амплитудой. Этому способствуют волнообразная боковая поверхность комбинированного винтового ротора 1 и карманы криволинейной формы по внутреннему периметру ротора, которые захватывают порции масс загрузки при вращении ротора, поднимают выше угла естественного откоса и бросают на противоположные стенки ротора, навстречу его вращающейся боковой поверхности, увеличивая частоту и энергоёмкость взаимодействия обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред.

За счет дебаланса масс комбинированного винтового ротора 1, размещенных внутри него обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред, платформы 9, упруго установленной на станине 11, создаются высокочастотные колебания с малой амплитудой.

Совместное воздействие на обрабатываемые детали и частицы рабочих сред высокочастотных колебаний с малой амплитудой и низкочастотных колебаний с большой амплитудой, а также нарушения скорости и направления движения масс загрузки повышают производительность и расширяют технологические возможности.

Массы загрузки совершают сложное пространственное движение в вертикальной плоскости (по эллиптическим траекториям, так как боковая поверхность комбинированного винтового ротора 1 выполнена по периметру волнообразной, а плоские торцевые стенки эллиптической формы 15 и 16 размещены под острым углом друг к другу и к оси вращения ротора), а в горизонтальной плоскости - возвратно-поступательное. На эти движения накладываются низкочастотные колебания, возбуждаемые асимметричным положением комбинированного винтового ротора 1, при одновременном воздействии колебаний в

трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Поток движущихся деталей и частиц рабочих сред нестационарен, а размеры и расположение зоны активного их смешивания заметно меняются за время одного оборота ротора. В результате нарушения упорядоченности процесса движения масс загрузки движение их становится более активным, ликвидируются зоны малоподвижности, возрастает энергоёмкость соударений потоков обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред между собой и со стенками ротора, а также торцевыми стенками 15 и 16, что обеспечивает повышение производительности обработки и расширение технологических возможностей. Нестационарность процесса движения масс загрузки усугубляется расположением торцевых стенок 15 и 16, большие оси эллипсов которых повернуты относительно друг друга на острый угол  $\omega$ , что существенно меняет направление движения масс загрузки вдоль оси вращения комбинированного винтового ротора 1 и создает зоны различного давления торцевых стенок 15 и 16 на обрабатываемые детали и частицы рабочих сред. Поэтому массы загрузки имеют возможность (под воздействием геометрического уклона ротора и разности давления торцевых стенок 15 и 16) не только двигаться по сложным траекториям, но и перемещаться в осевом направлении от загрузки к выгрузке. Усложнению траекторий перемещения масс загрузки способствуют витки пружин 13 и 14 конусной формы и карманы волнообразной формы по внутреннему периметру комбинированного винтового ротора 1.

Скорость перемещения масс загрузки от загрузки к выгрузке можно регулировать изменением угла наклона всего станка для отделочно-упрочняющей обработки деталей машин.

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность выполнения отделочно-упрочняющей обработки деталей в рабочих органах станков в виде комбинированных винтовых роторов.

Время обработки при этом ограничивает-  
**Обсуждение результатов**

Проведенная работа по созданию инновационного оборудования для отделочно-упрочняющей обработки позволила создать станки, содержащие упруго установленный на станине со средствами для загрузки и выгрузки рабочий орган в виде комбинированного винтового ротора с торцевыми стенками эллиптической формы. Ротор установлен под острым углом  $\alpha$  к оси его вращения и снабжен по внутреннему периметру винтовыми карманами различной формы (треугольной, полукруглой, много-

ся 4-5 минутами.

угольной, волнообразной), а по наружному периметру выполнен с чередующимися винтовыми выступами (треугольной, полукруглой, многоугольной, волнообразной формы). При этом плоские торцевые стенки комбинированного винтового ротора смонтированы под острым углом  $\beta$  одна к другой и под разными острыми углами  $\psi$  и  $\phi$  к горизонтальной оси вращения ротора, а также повернуты относительно оси вращения и друг друга на угол  $\omega$ .

### Заключение

Технико-экономические преимущества от внедрения предлагаемых новых конструкций станков для отделочно-упрочняющей обработки деталей - с рабочими органами в виде комбинированных роторов с волнообразной поверхностью по периметру - возникают не только за счет

повышения производительности и надежности их работы, а также бесперебойной подачи, дозировки и надежности поступления обрабатываемых деталей и их вывода за пределы станка, но и за счет расширения технологических возможностей обработки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2672974 Российская Федерация, МПК В24В 31/023. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки / В.А. Лебедев, Г.В. Серга, И.В. Давыдова, С.Ю. Штынь; Донской государственный технический университет. – № 2017144229; заявл. 18.12.17; опубл. 21.11.18, Бюл. № 33.
2. Пат. 2519398 Российская Федерация, МПК В24В 31/02. Станок для химико-отделочно-упрочняющей обработки деталей / Г.В. Серга, В.В. Иванов, В.А. Лебедев; Кубанский государственный аграрный университет. – № 2013106597/02; заявл. 14.12.13; опубл. 10.06.14, Бюл. № 16.
3. Пат. 2528291 Российская Федерация, МПК В24В 31/02. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки / Г.В. Серга, В.А. Лебедев, В.В. Иванов; Кубанский государственный аграрный университет. – № 2013106599/02; заявл. 14.02.13; опубл. 10.09.14, Бюл. № 25.
4. Пат. 2572685 Российская Федерация, МПК В24В 31/02. Устройство для отделочно-зачистной обработки / А.Ю. Марченко, А.Н. Иванов, В.А. Лебедев, В.В. Иванов, Г.В. Серга; Кубанский государственный аграрный университет. – № 2014129160/02; заявл. 15.07.14; опубл. 20.01.16, Бюл. № 2.
5. Пат. 2613517 Российская Федерация, МПК В01F 13/08. Аппарат вихревого слоя непрерывного действия / Г.В. Серга, А.А. Кочубей, В.А. Лебедев; Кубанский государственный аграрный университет. – № 2016110382/02; заявл. 21.03.16; опубл. 16.03.17, Бюл. № 8.
6. Пат. 2614009 Российская Федерация, МПК В01F 13/08. Аппарат вихревого слоя / Г.В. Серга, А.А. Кочубей, В.А. Лебедев; Кубанский государственный аграрный университет. – № 2015153707; заявл. 14.12.15; опубл. 22.03.17, Бюл. № 9.
7. Пат. 2614013 Российская Федерация, МПК В01F 13/08. Аппарат слоя вихревого / Г.В. Серга, А.А. Кочубей, В.А. Лебедев; Кубанский государственный аграрный университет. – № 2016110238; заявл. 21.03.16; опубл. 22.03.17, Бюл. № 9.
8. Пат. 2618568 Российская Федерация, МПК В01F 13/08. Аппарат трубный вихревого слоя / Г.В. Серга, А.А. Кочубей, В.А. Лебедев; Кубанский государственный аграрный университет. – № 2016108190; заявл. 09.03.16; опубл. 04.05.17, Бюл. № 13.
9. Серга, Г.В. Внедрение идеологии Л.Н. Кошкина в виброупрочняющей технологии на примере винтовых роторов / Г.В. Серга, В.А. Лебедев // Вестник РГТУ им. П.А. Соловьева. – Рыбинск, 2017. – № 2 (41). – С. 126-132.
10. Lebedev, V.A. Increase of efficiency of finishing-cleaning and hardening processing of details based on rotor-screw technological systems / V.A. Lebedev, G.V. Serga, A.V. Khandozhko //

- IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. - № 327. - 042062.
11. Lebedev, V.A. Method for calculating the power of a rotor-screw machines / V.A. Lebedev, G.V. Serga, I.V. Davydova, T.V. Atoyán, I.G. Koshlyakova, A.V. Gordienko // MATEC Web Conf. - 226 (2018) 01007.
  12. Lebedev, V.A. Main trends in intensification of rotor-screw processing of parts / V.A. Lebedev, G.V. Serga, I.V. Davydova, T.V. Atoyán, I.G. Koshlyakova, A.V. Gordienko // MATEC Web Conf. - 226 (2018) 01008.
  1. Pat. 2672974 the Russian Federation, IPC B24B 31/023. *Device for Finish-strengthening* / V.A. Lebedev, G.V. Serga, I.V. Davydova, S.Yu. Shtyn; Don State Technical University. – No. 2017144229; claimed.: 18.12.17.; published: 21.11.18, Bull. No. 33.
  2. Pat. 2519398 the Russian Federation, IPC B24B 31/02. *Machine for Parts Chemical-Finish-Strengthening* / G.V. Serga, V.V. Ivanov, V.A. Lebedev; Kuban State Agricultural University. – No. 2013106597/02; claimed: 14.12.13; published: 10.06.14, Bull. No.16.
  3. Pat. 2528291 the Russian Federation, IPC B24B 31/02. *Device for Finish-Strengthening* / G.V. Serga, V.A. Lebedev, V.V. Ivanov; Kuban State Agricultural University. – No. 2013106599/02; claimed: 14.02.13; published: 10.09.14, Bull. No.21.
  4. Pat. 2572685 the Russian Federation, IPC B24B 31/02. *Device for Finish-Cleaning* / A.Yu. Marchenko, A.N. Ivanov, V.A. Lebedev, V.V. Ivanov, G.V. Serga; Kuban State Agricultural University. – No. 2014129160/02; claimed: 15.07.14; published: 20.01.16, Bull. No.2.
  5. Pat. 2613517 the Russian Federation, IPC B01F 13/08. *Device of Vortex Layer with Continuous Action* / G.V. Serga, A.A. Kochubey, V.A. Lebedev; Kuban State Agricultural University. – No. 2016110382/02; claimed: 21.03.16.; published: 16.03.17, Bull. No.8.
  6. Pat. 2614009 the Russian Federation, IPC B01F 13/08. *Device of Vortex Layer* / G.V. Serga, A.A. Kochubey, V.A. Lebedev; Kuban State Agricultural University. – No. 2015153707; claimed: 14.12.15; published: 22.03.17, Bull. No.9.
  7. Pat. 2614013 the Russian Federation, IPC B01F 13/08. *Device of Vortex Layer* / G.V. Serga, A.A. Kochubey, V.A. Lebedev; Kuban State Agricultural University. – No. 2016110238; claimed:21.03.16; published: 22.03.17, Bull. No.9.
  8. Pat. 2618568 the Russian Federation, IPC B01F 13/08. *Device of Tube Vortex Layer* / G.V. Serga, A.A. Kochubey, V.A. Lebedev; Kuban State Agricultural University. – No. 2016108190; claimed: 09.03.16; published: 04.05.17, Bull. No.13.
  9. Serga, G.V. Koshkin ideology introduction in vibro-strengthening technology by example of screw rotors / G.V. Serga, V.A. Lebedev // *Bulletin of Soloviyov RSTU*. – Rybinsk, 2017. – No.2 (41). – pp. 126-132.
  10. Lebedev, V.A. Increase of efficiency of finishing-cleaning and hardening processing of details based on rotor-screw technological systems / V.A. Lebedev, G.V. Serga, A.V. Khandozhko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. - № 327. - 042062.
  11. Lebedev, V.A. Method for calculating the power of a rotor-screw machines / V.A. Lebedev, G.V. Serga, I.V. Davydova, T.V. Atoyán, I.G. Koshlyakova, A.V. Gordienko // MATEC Web Conf. - 226 (2018) 01007.
  12. Lebedev, V.A. Main trends in intensification of rotor-screw processing of parts / V.A. Lebedev, G.V. Serga, I.V. Davydova, T.V. Atoyán, I.G. Koshlyakova, A.V. Gordienko // MATEC Web Conf. - 226 (2018) 01008.

*Статья поступила в редакцию 20.05.19*

*Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Вестник БГТУ»*

*Хандожко А.В.*

*Статья принята к публикации 7. 06. 19.*

#### Сведения об авторах:

**Серга Георгий Васильевич**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой начертательной геометрии и графики Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина, e-mail: [serga-georgy@mail.ru](mailto:serga-georgy@mail.ru).

**Lebedev Valery Alexandrovich**, Can. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Engineering Technique”, Don State Technical University, e-mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru).

**Лебедев Валерий Александрович**, к.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону, e-mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru).

**Serga Georgy Vasilievich**, Dr. Sc. Tech., Prof., Head of the Dep. “NG&G”, Trubilin State Agricultural University of Kuban, e-mail: [serga-georgy@mail.ru](mailto:serga-georgy@mail.ru).